

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ QUỐC PHÒNG
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

NGUYỄN SỸ HIẾU

**TỔNG HỢP LUẬT DẪN TÊN LỬA KHÔNG
ĐỐI KHÔNG TRONG GIAI ĐOẠN BAY
Ô-TÔ-NÔM ĐẢM BẢO TẤN CÔNG
MỤC TIÊU CÓ ĐỘ LỆCH LỚN SO VỚI
HƯỚNG PHÓNG**

**Chuyên ngành : Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa
Mã số : 9 52 02 16**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội – 2020

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. TS. Đoàn Thế Tuấn**
- 2. GS-TSKH. Nguyễn Đức Cường**

***Phản biện 1:* PGS.TS Nguyễn Quang Hùng**

Viện KH và CNQS

***Phản biện 2:* GS.TS Phan Xuân Minh**

Đại học Bách khoa Hà Nội

***Phản biện 3:* PGS.TS Bùi Xuân Khoa**

Học viện Phòng không – Không quân

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số...../QĐ-HV, ngày.....tháng.....năm 2020 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồigiờ.....ngày..... tháng năm 202...

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

01. Nguyễn Sỹ Hiếu, Đoàn Thế Tuấn, Vương Anh Trung, “*A computational method for optimal midcourse guidance law with impact gust wind*”, Journal of Mechanical Engineering Research and Developments ISSN: 1024-1752 CODEN: JERDFO Vol. 43, No. 4, pp. 388-399 Published Year 2020
02. Nguyễn Sỹ Hiếu, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Đức Cường, “*Nghiên cứu ảnh hưởng của gió đến chất lượng luật dẫn giai đoạn bay ô-tô-nôm của tên lửa không đối không tầm trung*”, Báo cáo hội thảo quốc gia FEE2019, Thái Nguyên ngày 26-10-2019. Tạp chí KH và CNQS, số đặc san FEE 2019.
03. Nguyễn Sỹ Hiếu, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Đức Cường, “*Tổng hợp luật dẫn tên lửa không đối không tầm trung trong giai đoạn I theo sai lệch góc và sai lệch thẳng*”, Báo cáo tại hội nghị quốc tế VCCA 2019, Hà Nội ngày 6-9-2019.
04. Nguyễn Sỹ Hiếu, Đoàn Thế Tuấn, Bùi Tiến Anh, Nguyễn Thành Chung, “*Nghiên cứu tổng hợp luật dẫn giai đoạn quán tính cho tên lửa không đối không tầm trung*”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Số 201(8-2019) - Học viện KTQS.
05. Nguyễn Sỹ Hiếu, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Đức Cường, “*Tổng hợp luật dẫn tên lửa không đối không tầm trung giai đoạn bay ô-tô-nôm theo quỹ đạo tham chiếu*”, Tạp chí KH và CNQS số 62, 8/2019.
06. Nguyễn Sỹ Hiếu, Đoàn Thế Tuấn, Nguyễn Đức Cường, Nguyễn Ngọc Điền, “*Tối ưu quỹ đạo tên lửa không đối không giai đoạn bay hành trình khi tấn công mục tiêu chuyển động*”, Tạp chí KH và CNQS số 60, 4/2019.

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Trong thời gian qua mặc dù được trang bị nhiều loại vũ khí hiện đại, tuy nhiên nhìn chung Không quân Việt Nam vẫn ít về số lượng và thua về chất lượng so với các đối thủ tiềm tàng. Do vậy, chiến thuật cơ bản trong tác chiến “không đối không” mà chúng ta sử dụng hiện nay vẫn là tấn công bất ngờ và rút nhanh. Để có thể thực hiện được yêu cầu chiến thuật này, các đặc tính kỹ thuật của tên lửa phải đảm bảo khả năng tấn công mục tiêu từ xa, tên lửa có thể hình thành quỹ đạo tấn công đa dạng, góc đón ban đầu q_0 lớn (góc giữa véc tơ vận tốc tên lửa với đường ngắm TL-MT), độ chính xác dẫn cao.

Với các loại tên lửa “không đối không” thế hệ cũ để đảm bảo có thể tiêu diệt mục tiêu, trước khi phóng tên lửa phi công cần phải liên tục điều khiển, cơ động máy bay (hay trực dọc tên lửa, do đầu tự dẫn trước khi phóng được khóa cố định) hướng về phía mục tiêu đồng thời phải duy trì hướng, tầm của máy bay bám theo mục tiêu trong một khoảng thời gian nhất định, đảm bảo đầu tự dẫn tên lửa có khả năng “khóa” mục tiêu (từ 3÷5s). Đây mà một nhiệm vụ rất khó khăn đối với phi công, dễ gây mất thời cơ chiến đấu cũng như tạo mối nguy hiểm tiềm tàng đối với máy bay ta, đặc biệt khi tác chiến với các PTTCDK có hỏa lực mạnh hiện nay.

Từ phân tích trên, luận án đặt ra bài toán “**Tổng hợp luật dẫn tên lửa không đối không trong giai đoạn bay ô-tô-nôm đảm bảo tấn công mục tiêu có độ lệch lớn so với hướng phóng**” nhằm xây dựng một PPD mới trong giai đoạn bay ô-tô-nôm, áp dụng cho lớp tên lửa “không đối không” tầm trung đảm bảo: có khả năng tấn công mục tiêu với góc đón đa dạng kể cả góc đón lớn; hình thành quỹ đạo đa dạng đảm bảo yếu tố bí mật bất ngờ khi tiếp cận mục tiêu; góp phần nâng cao độ chính xác trong giai đoạn tự dẫn. Vấn đề nghiên cứu trên là hết sức cần thiết và cấp bách.

2. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là tổng hợp luật dẫn giai đoạn bay ô-tô-nôm đảm bảo các yêu cầu tại thời điểm chuyển sang giai đoạn tự dẫn.

Phạm vi nghiên cứu: Luận án giới hạn phạm vi nghiên cứu được hạn chế trong khuôn khổ bài toán tổng hợp luật dẫn giai đoạn bay ô-

tô-nôm cho tên lửa “không đối không” tầm trung. Trong triển khai nghiên cứu, luận án sử dụng mối quan hệ động hình học TL-MT hình thành các mô hình động học khác nhau, kết hợp với lý thuyết điều khiển tối ưu để tổng hợp các luật dẫn khác nhau.

Quá trình nghiên cứu được tiến hành bằng phương pháp nghiên cứu lý thuyết gắn với mô phỏng thử nghiệm.

3. Nội dung nghiên cứu

Nội dung của Luận án được trình bày trong 119 trang, 63 hình vẽ và đồ thị, 70 tài liệu tham khảo.

Nội dung nghiên cứu nhằm giải quyết ba bài toán cụ thể:

- Tổng hợp luật dẫn cho tên lửa “không đối không” trong giai đoạn bay ô-tô-nôm;

- Xây dựng họ quỹ đạo tham chiếu đa dạng với góc phóng khác nhau kể cả góc phóng lớn, phù hợp với các yêu cầu chiến thuật trong tác chiến hiện đại;

- Xây dựng thuật toán giải bài toán bắn đón, có tính tới tham số chuyển động của mục tiêu, tên lửa và tính lượng bù do độ cong của quỹ đạo tham chiếu.

Bố cục luận án gồm:

Phần mở đầu.

Chương 1: Tổng quan về tên lửa “không đối không” tầm trung và phương pháp dẫn kết hợp.

Chương 2: Tổng hợp luật dẫn tên lửa trong giai đoạn bay ô-tô-nôm theo các tham số tọa độ góc.

Chương 3: Tổng hợp luật dẫn tên lửa giai đoạn bay ô-tô-nôm theo sai lệch góc, sai lệch thẳng với quỹ đạo tham chiếu.

Chương 4: Mô phỏng đánh giá hiệu quả các luật dẫn.

Kết luận.

4. Tính thực tiễn, tính khoa học và đóng góp mới của luận án

Tính thực tiễn

- Các thuật toán xây dựng được đảm bảo các yêu cầu tên lửa thuận lợi chuyển sang giai đoạn tự dẫn và hình thành lớp quỹ đạo đa dạng phù hợp thực tế tác chiến của lớp tên lửa “không đối không” tầm trung sử dụng phương pháp dẫn kết hợp ô-tô-nôm – tự dẫn;

- Các thuật toán đề xuất hoàn toàn có thể hiện thực hóa trên cơ sở các công nghệ kỹ thuật hiện nay;

Tính khoa học của luận án

Hoàn thiện và phát triển các luật dẫn trong giai đoạn bay ô-tô-nôm cho một lớp tên lửa “không đối không” tầm trung sử dụng phương pháp dẫn kết hợp trên cơ sở ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu.

Những đóng góp mới của luận án

1. Đã tổng hợp luật dẫn tên lửa “không đối không” trong giai đoạn bay ô-tô-nôm theo quỹ đạo tham chiếu;

2. Đã đề xuất một lớp quỹ đạo tham chiếu có dạng hàm Rayleigh và xây dựng thuật toán giải bài toán bản đôn phù hợp với quỹ đạo tên lửa đã chọn;

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ TÊN LỬA KHÔNG ĐỐI KHÔNG TẦM TRUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP DẪN KẾT HỢP

1.1. Tổng quan về tên lửa “không đối không” tầm trung

Tên lửa có điều khiển trong Không Quân được phân loại theo các dấu hiệu liên quan đến đặc trưng kết cấu của tên lửa [4, 11, 12].

Điều khiển kết hợp được hiểu là trong một hệ thống kết hợp một số phương pháp điều khiển khác nhau nhằm phát huy một cách đầy đủ nhất các ưu điểm của từng phương pháp và hạn chế các nhược điểm của chúng [5, 13, 46, 47, 49, 56, 64, 66].

Phương pháp điều khiển kết hợp ô-tô-nôm – tự dẫn kết hợp được các ưu điểm như: khả năng tấn công từ xa, độ chính xác cao, tấn công bí mật bất ngờ, có khả năng “bắn và quên” [11, 12].

1.2. Tổng quan về các nghiên cứu trong và ngoài nước về phương pháp dẫn kết hợp

Các nghiên cứu trong nước: các nghiên cứu về tổng hợp phương pháp dẫn cho tên lửa đang ngày càng được quan tâm và chú ý hơn. Tuy nhiên, các nghiên cứu về phương pháp dẫn kết ô-tô-nôm – tự dẫn áp dụng trên lớp tên lửa “không đối không” tầm trung có khả năng tấn công mục tiêu từ xa, độ chính xác cao, có khả năng tấn công mục tiêu với góc đón đa dạng kể cả góc đón lớn, quỹ đạo tiếp cận mục tiêu đa dạng đảm bảo yếu tố bí mật bất ngờ là những vấn đề hết sức cấp thiết nhưng hiện nay còn để ngỏ.

Các nghiên cứu nước ngoài:

- Đối với các bài toán ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu để tổng hợp luật dẫn trong giai đoạn thứ nhất đối tượng áp dụng là các

mục tiêu cố định. Bỏ qua thành phần mục tiêu trong mối liên hệ động hình học. Điều kiện biên tại thời điểm chuyển: khoảng cách đảm bảo mở đầu tự dẫn; góc nghiêng đường ngắm và góc nghiêng quỹ đạo yêu cầu bằng với giá trị cho trước. Độ trượt tức thời tại thời điểm bắt đầu tự dẫn chưa được đề cập;

- Đối với trường hợp mục tiêu chuyển động việc tổng hợp luật dẫn trong giai đoạn thứ nhất dựa trên mối liên hệ động hình học và xuất phát từ luật dẫn tiếp cận tỉ lệ. Các điều kiện biên về góc giới hạn được đánh giá thông qua các hàm điều kiện liên quan đến đặc điểm của từng giai đoạn dẫn cũng như giới hạn vật lý để đảm bảo tiêu diệt mục tiêu trong giai đoạn 2 (thường là tự dẫn), việc so sánh đánh giá với các chỉ tiêu tối ưu không được thực hiện;

- Việc ứng dụng lý thuyết điều khiển tối ưu để tổng hợp luật dẫn cho tên lửa “không đối không” với mục tiêu chuyển động, yêu cầu tấn công mục tiêu với góc đón ban đầu lớn, quỹ đạo tên lửa đa dạng chưa có tài liệu nào đề cập đến hoặc chưa công bố do bí mật quân sự.

Phương pháp dẫn kết hợp trên tên lửa R-27R

Tên lửa trong giai đoạn bay ô-tô-nôm được đưa đến một vị trí xác định trong không gian theo quỹ đạo xác định. Vì vậy, nhiệm vụ điều khiển tên lửa trên giai đoạn ban đầu là phải triệt tiêu các sai lệch thẳng theo mặt phẳng đứng và mặt phẳng ngang đến thời điểm sai lệch thẳng có giá trị bằng sai lệch cho phép.

Trên đoạn bay ô-tô-nôm, theo các tọa độ và tốc độ mục tiêu trong hệ tọa độ mặt đất cố định, máy tính của đầu tự dẫn ПaПГC-27 sẽ hình thành quá tải chọn trước trong mặt phẳng đứng (mặt phẳng ngang) theo công thức [11]:

$$n_{ctY(Z)} = \frac{0.4}{T_b^*} \left(\dot{L}_{Y(Z)} + \frac{1.5}{T_b^*} L_{Y(Z)} \right) \quad (1.1)$$

$$T_b^* = \begin{cases} 3.5 & T_b < 3.5 \\ \frac{L_{Y(Z)} - 0.8L_{cp}}{|\dot{L}_{Y(Z)}|} & T_b > 3.5 \end{cases} \quad (1.2)$$

Trong giai đoạn tự dẫn, luật điều khiển cơ bản của tên lửa R-27R được xác định bởi công thức sau:

$$n = K \cdot \sigma \quad (1.3)$$

1.3. Cơ sở lý thuyết tối ưu giải bài toán tổng hợp luật dẫn

Tổng hợp luật dẫn là bài toán tìm quá tải yêu cầu trên cơ sở các

phương trình vi phân dựa trên môi liên hệ động hình học TL-MT, thực chất đây chính là bài toán điều khiển.

Các bước để giải bài toán điều khiển tối ưu:

+ Bước 1: Xây dựng phương trình trạng thái mô tả đối tượng điều khiển $\dot{x} = f(x(t), u(t), t)$;

+ Bước 2: Xây dựng hàm mục tiêu và điều kiện biên

$$\min_{u(t)} J(u) = G(x(t_f)) + \int_{t_0}^{t_f} L(x(t), u(t), t) dt ;$$

+ Bước 3: Thành lập hàm Haminton:

$$H(t) = L(x, u, t) + \psi^T(t) f(x, u, t) ;$$

+ Bước 4: Xây dựng điều kiện cần để có lời giải tối ưu:

Phương trình trạng thái: $\dot{x} = f(x(t), u(t), t)$;

Phương trình đồng trạng thái: $\dot{\lambda}(t) = -\frac{\partial H}{\partial x}$;

Điều kiện dừng: $\frac{\partial H}{\partial u} = 0$;

Điều kiện đầu: $x(t_0) = x_0$;

Điều kiện cuối: $\lambda(t_f) = \frac{\partial G(t_f)}{\partial x}$.

+ Bước 5: Giải hệ phương trình trên nhận được $u^*(t)$, $x^*(t)$.

1.4. Đặt bài toán nghiên cứu

Xuất phát từ những điểm còn hạn chế của các nghiên cứu trong và ngoài nước đã được công bố; căn cứ vào đặc điểm cũng như yêu cầu chiến thuật trong tác chiến “không đối không”, luận án tập trung nghiên cứu tổng hợp luật dẫn trong giai đoạn bay ô-tô-nôm phù hợp với các điều kiện tác chiến khác nhau, cụ thể luận án cần giải quyết các bài toán:

Bài toán 1: Tổng hợp luật dẫn cho tên lửa “không đối không” trong giai đoạn bay ô-tô-nôm;

Bài toán 2: Xây dựng họ quỹ đạo tham chiếu đa dạng với góc phóng khác nhau kể cả góc phóng lớn, phù hợp với các yêu cầu chiến thuật trong tác chiến hiện đại;

Bài toán 3: Xây dựng thuật toán giải bài toán bắn đón, có tính tới tham số chuyển động của mục tiêu, tên lửa và tính lượng bù do độ cong của quỹ đạo tham chiếu.

1.5. Kết luận chương

Trong chương 1, trên cơ sở phân tích các yêu cầu chiến thuật trong tác chiến phi đối xứng, những hạn chế của các nghiên cứu trong và ngoài nước cũng như trong thuyết minh kỹ thuật, đã đặt ra vấn đề nghiên cứu tổng hợp luật dẫn trong giai đoạn bay ô-tô-nôm đảm bảo yêu cầu trong tác chiến hiện đại.

Theo cách đặt vấn đề trong mục 1.4, đã xác định được ba bài toán cần giải ở những chương tiếp theo của luận án.

CHƯƠNG 2

TỔNG HỢP LUẬT DẪN TÊN LỬA TRONG GIAI ĐOẠN BAY Ô-TÔ-NÔM THEO CÁC THAM SỐ TỌA ĐỘ GÓC

2.1. Tổng hợp luật dẫn giai đoạn bay ô-tô-nôm theo sai lệch góc

2.1.1. Xây dựng mô hình động học

Xuất phát từ mối liên hệ động hình học TL-MT ta có:

$$\begin{cases} \dot{r} = -V_{tl} \cos(\psi_{tl} - \sigma) + V_{mt} \cos(\psi_{mt} - \sigma) \\ r\dot{\sigma} = -V_{tl} \sin(\psi_{tl} - \sigma) + V_{mt} \sin(\psi_{mt} - \sigma) \end{cases} \quad (2.1)$$

Trong đó: V_{tl} , ψ_{tl} - Tương ứng là vận tốc và góc hướng quỹ đạo tên lửa; V_{mt} , ψ_{mt} - Vận tốc và góc hướng quỹ đạo mục tiêu; σ , $r(t)$ - Góc đường ngắm và khoảng cách TL-MT.

Yêu cầu đặt ra khi kết thúc giai đoạn bay ô-tô-nôm là:

- Khoảng cách TL-MT bằng cự ly hoạt động của đầu tự dẫn r_{td} ;
- Tốc độ góc đường ngắm nhỏ ($\dot{\sigma} \rightarrow 0$).

Chọn t_f nhỏ hơn thời điểm bắt đầu tự dẫn (t_{td}), thì sau thời điểm t_f , cự ly tên lửa tăng dần, khoảng cách tên lửa mục tiêu giảm dần đến r_{td} . Vì vậy yêu cầu thứ nhất trong giai đoạn bay ô-tô-nôm không cần xem xét. Nhận được điều kiện biên:

$$(\Delta\psi + (1 - k_v)\sigma)\Big|_{t_f} = 0 \quad (2.5)$$

Thực hiện các biến đổi, mô hình động học được viết thành:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = (1 - k_v)\zeta - \frac{g}{V_{tl}} n_z \\ \dot{\sigma} = \zeta \\ \dot{\zeta} = -2\frac{V}{r}\zeta - \frac{g \cos(\varphi + k_v\sigma - \psi_0)n_z}{r} \end{cases} \quad (2.7)$$

2.1.2. Tổng hợp luật dẫn

Hàm chỉ tiêu chất lượng có dạng:

$$J = \frac{1}{2} \rho(\varphi)_{t_f}^2 + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} n_z^2 dt \rightarrow \min \quad (2.8)$$

Ký hiệu: $q = \psi_{tl} - \sigma$; $q_{mt} = \psi_{mt} - \sigma$. Nhận được hệ phương trình biến động trạng thái:

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_\varphi}{dt} = -\lambda_\zeta \frac{g \sin(q) n_z}{r} \\ \frac{d\lambda_\sigma}{dt} = \lambda_\zeta k_V \frac{g \sin(q) n_z}{r} \\ \frac{d\lambda_\zeta}{dt} = -\lambda_\varphi (1 - k_V) - \lambda_\sigma + 2\lambda_\zeta \frac{V}{r} \end{cases} \quad (2.10)$$

Tín hiệu điều khiển tối ưu:

$$n_z = g \left(-\frac{1}{V_{tl}} \lambda_\varphi + \frac{\cos(q)}{r} \lambda_\zeta \right) \quad (2.11)$$

Điều kiện biên:

$$\begin{cases} \lambda_\varphi|_{t_f} = \partial G / \partial \varphi|_{t_f} = \rho \varphi|_{t_f} \\ \lambda_\sigma|_{t_f} = \partial G / \partial \sigma|_{t_f} = 0 \\ \lambda_\zeta|_{t_f} = \partial G / \partial \zeta|_{t_f} = 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

Hệ phương trình mở rộng có dạng:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(11)} & A^{(12)} \\ A^{(21)} & A^{(22)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Giá trị biến trạng thái và đồng trạng thái tại t_f .

$$\begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix}_{t_f} = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} \\ P^f \end{bmatrix} x_{t_f} \quad (2.18)$$

Xét tại thời điểm t , với $t_k \leq t \leq t_{k+1}$ và $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ đủ nhỏ. Có thể coi $\sin(q) = \sin(q_k) = const$; $\cos(q) = \cos(q_k) = const$. Khi đó hệ (2.17) được xem là tuyến tính. Nghiệm của (2.17), có dạng (với Φ : ma trận vuông cấp 2):

$$\begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} = \Phi(t_f - t) \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix}_{t_f} \quad (2.19)$$

Biến đổi rút ra được phương trình Riccati:

$$\dot{P}(t) = P(t) \left(A^{(22)} \right)^T - \left(A^{(11)} \right)^T P(t) - P(t) A^{(12)} P(t) \quad (2.24)$$

Luật dẫn xác định bởi:

$$n_z = g \begin{bmatrix} -\frac{1}{V_{tl}} & 0 & \frac{\cos(q_k)}{r_k} \end{bmatrix} P^T(t) x \quad (2.25)$$

Để tìm $P(t)$, cần phải giải phương trình Riccati (2.24) với điều kiện biên (2.22) [6], tuy nhiên việc này rất khó khăn bởi vì (2.24) không có nghiệm giải tích. Vì vậy, ở đây thực hiện tìm nghiệm gần đúng bằng cách lựa chọn hàm $P(t)$. Lựa chọn hàm $P(t) = P^f$ tức là:

$$P = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Tính toán phương trình Riccati (2.24), nhận được:

$$\dot{P} = - \begin{bmatrix} \frac{g^2}{V_{tl}^2} k^2 & 0 & k(1-k_v) \\ 0 & 0 & 0 \\ k(1-k_v) & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{P}_{11} & 0 & \dot{P}_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ \dot{P}_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Chúng minh được $P_{13}=P_{31}$ trong (2.31) rất nhỏ. Khẳng định phương pháp lựa chọn là đúng.

Nhận được luật dẫn tối ưu:

$$n_z = -\frac{V_{tl}}{g} \frac{1}{t_0 - \frac{r}{V}} (\Delta\psi - (1-k_v)\sigma) \quad (2.36)$$

Luật dẫn (2.36) tỉ lệ với $\Delta\psi - (1-k_v)\sigma$ với hệ số thay đổi phụ thuộc vào khoảng cách TL-MT và tốc độ tiếp cận. Giai đoạn đầu giá trị của hệ số lớn có tác dụng đưa nhanh tên lửa vào quỹ đạo động, giai đoạn sau hệ số có giá trị nhỏ đảm bảo tên lửa bay ổn định trên quỹ đạo. Tuy nhiên, giới hạn phạm vi áp dụng với góc đón nhỏ.

2.2. Tổng hợp luật dẫn theo tốc độ góc đường ngắm

2.2.1. Động học đường ngắm TL-MT

Mô hình động học:

$$\begin{cases} \dot{\psi}_{il} = \frac{g}{V_{il}} n_z \\ \dot{\sigma} = \zeta \\ \dot{\zeta} = -2\frac{V}{r}\zeta - \frac{g \cos(\psi_{il} - \sigma)n_z}{r} \end{cases} \quad (2.37)$$

Điều kiện biên:

$$\zeta|_{t_f} = 0 \quad (2.38)$$

2.2.2. Xây dựng luật dẫn

$$J = \frac{1}{2} \rho \zeta_{t_f}^2 + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} n_z^2 dt \rightarrow \min \quad (2.39)$$

Hệ phương trình biến động trạng thái:

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_{\psi_{il}}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \psi_{il}} = -\lambda_{\zeta} \frac{g}{r} \sin(q)n_z \\ \frac{d\lambda_{\sigma}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \sigma} = \lambda_{\zeta} \frac{g}{r} \sin(q)n_z \\ \frac{d\lambda_{\zeta}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \zeta} = -\lambda_{\sigma} + \lambda_{\zeta} 2\frac{V}{r} \end{cases} \quad (2.41)$$

Tín hiệu điều khiển tối ưu:

$$n_z = g \left(-\frac{1}{V_{il}} \lambda_{\psi_{il}} + \frac{\cos(q)}{r} \lambda_{\zeta} \right) \quad (2.42)$$

Điều kiện biên chuyển đổi:

$$\begin{cases} \lambda_{\psi_{il}}|_{t_f} = \partial G / \partial \psi_{il}|_{t_f} = 0 \\ \lambda_{\sigma}|_{t_f} = \partial G / \partial \sigma|_{t_f} = 0 \\ \lambda_{\zeta}|_{t_f} = \partial G / \partial \zeta|_{t_f} = \rho \zeta|_{t_f} \end{cases} \quad (2.43)$$

Hệ phương trình mở rộng có dạng:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(11)} & A^{(12)} \\ A^{(21)} & A^{(22)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Nhận được luật dẫn có dạng:

$$n_z = g \begin{bmatrix} -\frac{1}{V_{Hl}} & 0 & \frac{\cos(q)}{r} \end{bmatrix} P^T(t)x \quad (2.50)$$

Với $P(t)$ nhận được từ phương trình Riccati. Tương tự, tìm $P(t)$ bằng cách lựa chọn hàm nhận được luật dẫn tối ưu:

$$n_z = \left(\frac{r}{r_0} \right)^3 \frac{n_{z-\max}}{\zeta_{\max}} \cdot \cos(q) \cdot \sigma \quad (2.55)$$

Như vậy, luật dẫn theo tốc độ góc đường ngắm (2.55) là luật dẫn tiếp cận tỉ lệ có hệ số thay đổi theo cự ly tương đối TL-MT. Giai đoạn đầu hệ số dẫn có giá trị lớn sẽ tạo ra quá tải yêu cầu lớn đảm bảo đưa nhanh tên lửa vào quỹ đạo động, giai đoạn sau quá tải yêu cầu nhỏ đảm bảo tên lửa bay ổn định trên quỹ đạo động.

Luật dẫn (2.55) với hệ số dẫn thay đổi sử dụng trong giai đoạn bay ô-tô-nôm đảm bảo khử tốc độ góc đường ngắm. Phù hợp với việc sử dụng phương pháp dẫn tiếp cận tỉ lệ trong giai đoạn tự dẫn.

2.2.3. Kết quả mô phỏng

- Qua kết quả khảo sát nhận thấy: tốc độ góc đường ngắm và độ trượt đều tiến tới “0” trước thời điểm chuyển sang tự dẫn rất nhiều.

- Quá tải yêu cầu có giá trị lớn trong giai đoạn đầu của quá trình dẫn sau đó giảm dần về “0” khi tên lửa đạt trạng thái xác lập;

- Quỹ đạo TL-MT trong các trường hợp góc hướng mục tiêu khác nhau đảm bảo, khoảng cách TL-MT thỏa mãn mở đầu tự dẫn.

2.3. Kết luận chương 2

Đối với luật dẫn theo sai lệch góc:

- Độ trượt giảm dần và tiến về “0” ở thời điểm trước khi mở đầu tự dẫn trong trường hợp góc đón ban đầu nhỏ;

- Ban đầu quá tải yêu cầu lớn khử sai lệch góc, sau đó giảm dần đảm bảo tên lửa bay ổn định trên quỹ đạo;

- Luật dẫn phù hợp với góc đón nhỏ;

- Luật dẫn đơn giản dẫn đến việc hiện thực hóa luật dẫn theo sai lệch góc dễ dàng, đơn giản.

Đối với luật dẫn theo tốc độ góc đường ngắm:

3.1.1. Mô hình động học tên lửa

Xuất phát từ mô hình động học [1, 2, 3]:

$$\begin{cases} \dot{\psi}_{tl} = (g/V_{tl})n_z \\ \dot{x} = V_{tl} \cos \psi_{tl} \\ \dot{z} = V_{tl} \sin \psi_{tl} \end{cases} \quad (3.2)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} \Delta\psi &= \psi_{tl} - \psi_m^* \\ \Delta x &= x - x_m^* \\ \Delta z &= z - z_m^* \end{aligned} \quad (3.3)$$

Ký hiệu h là độ lệch thẳng (khoảng cách từ tên lửa đến đường thẳng M_0M). Sử dụng phép quay và phép tịnh tiến, ta có:

$$h = -(x - x_0) \sin \psi_m^* + z \cos \psi_m^* \quad (3.6)$$

Đạo hàm (3.6) kết hợp với mô hình động học (3.2) nhận được:

$$\begin{cases} \Delta\dot{\psi} = \frac{g}{V_{tl}} n_z \\ \dot{h} = V_{tl} \sin \Delta\psi \end{cases} \quad (3.9)$$

Điều kiện biên:

$$\begin{aligned} \Delta\psi_{t_f} &= \psi_{t_f} - \psi_m^* \rightarrow 0 \\ h_{t_f} &= -\Delta x_{t_f} \sin \psi_m^* + \Delta z_{t_f} \cos \psi_m^* \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

3.1.2. Xây dựng luật dẫn

Hàm chỉ tiêu chất lượng:

$$J = \frac{1}{2} \rho_1 \Delta\psi_{t_f}^2 + \frac{1}{2} \rho_2 h_{t_f}^2 + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} n_z^2 dt \rightarrow \min \quad (3.11)$$

Biến đồng trạng thái:

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_{\Delta\psi}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \Delta\psi} = -\lambda_h V_{tl} \cos \Delta\psi \\ \frac{d\lambda_h}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial h} = 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

Nghiệm tối ưu:

$$n_z = -\frac{g}{V_{il}} \lambda_{\Delta\psi} \quad (3.15)$$

Điều kiện biên chuyển đổi:

$$\begin{cases} \lambda_{\Delta\psi}|_{t_f} = \partial G / \partial \Delta\psi|_{t_f} = \rho_1 \Delta\psi|_{t_f} \\ \lambda_{\Delta x}|_{t_f} = \partial G / \partial h|_{t_f} = \rho_2 h|_{t_f} \end{cases} \quad (3.16)$$

Hệ mở rộng có dạng:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(11)} & A^{(12)} \\ A^{(21)} & A^{(22)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Biến trạng thái và đồng trạng thái tại thời điểm cuối:

$$\begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix}_{t_f} = \begin{bmatrix} I_{2 \times 2} \\ P^f \end{bmatrix} x_{t_f} \quad (3.21)$$

Xét tại thời điểm t , với $t_k \leq t \leq t_{k+1}$ và $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ đủ nhỏ. Có thể coi $\cos(\Delta\psi) = \cos(\Delta\psi_k) = const$, khi đó hệ (3.20) được xem là

tuyến tính. Nghiệm của (3.20) có dạng: $\begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} = \Phi(t_f - t) \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix}_{t_f}$.

Rút ra được phương trình Riccati:

$$\dot{P}(t) = P(t) \left(A^{(22)} \right)^T - \left(A^{(11)} \right)^T P(t) - P(t) A^{(12)} P(t) \quad (3.26)$$

Luật dẫn tối ưu có dạng:

$$n_z = -\frac{g}{V_{il}} [1 \quad 0] P^T(t) x \quad (3.28)$$

Tìm $P(t)$ từ phương trình (3.26) bổ sung các ràng buộc: hằng số thời gian không lớn hơn hằng số thời gian cho phép; quá tải pháp tuyến không lớn hơn quá tải cho phép. Nhận được luật dẫn tối ưu:

$$n_z = -k_1 \Delta\psi - k_2 h \quad (3.29)$$

Với:

$$k_1 = \frac{n_{zmax} + \frac{1}{gT_{CP}^2} h_{max}}{\frac{1}{V_{il} T_{CP}} h_{max} + \Delta\psi_{max}} \quad (3.37)$$

$$k_2 = \frac{n_{z_{max}} + \frac{V_{tl}}{gT_{CP}}\psi_{max}}{h_{max} + V_{tl}T_{CP}\Delta\psi_{max}} \quad (3.38)$$

3.1.3. Một số kết quả mô phỏng

Trường hợp $k_2=0$:

- Thời gian quá độ vào trạng thái xác lập của tên lửa nhỏ, phương của tên lửa nhanh chóng cùng phương với quỹ đạo tham chiếu;

- Luật dẫn hình thành quá tải ban đầu lớn. Đảm bảo nhanh chóng khử sai lệch góc hướng quỹ đạo, ở giai đoạn ổn định, sai lệch góc hướng quỹ đạo và quá tải tiến tới “0”;

- Quỹ đạo ổn định của tên lửa song song với quỹ đạo tham chiếu nhưng không triệt tiêu sai lệch thẳng.

Trường hợp $k_1=0$:

Quỹ đạo tên lửa dao động quanh quỹ đạo tham chiếu. Quá tải yêu cầu và góc hướng quỹ đạo của tên lửa không ổn định. Do vậy, đề sử dụng được luật dẫn theo sai lệch thẳng cần có các cải thiện.

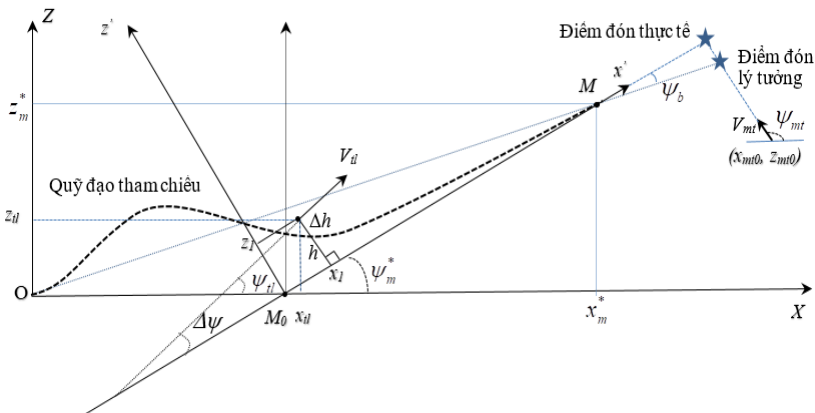
Trường hợp tổng quát:

- Đảm bảo đưa tên lửa đến vị trí mong muốn với góc hướng yêu cầu. Tên lửa ổn định trước khi vào tự dẫn;

- Quỹ đạo tên lửa nhanh chóng đưa về đường tham chiếu M_0M là đường thẳng. Vấn đề đa dạng quỹ đạo tên lửa không thực hiện được.

3.2. Tổng hợp luật dẫn theo quỹ đạo là đường cong bất kỳ

Chuyển động của tên lửa được chỉ ra trên hình 3.14.



Hình 3.2. Vị trí của tên lửa so với quỹ đạo tham chiếu.

3.2.1. Xây dựng mô hình động học tên lửa

Từ hệ phương trình:

$$\begin{cases} \Delta \dot{\psi} = \frac{g}{V_{il}} n_z \\ \dot{x}_1 = V_{il} \cos \Delta \psi \\ \dot{z}_1 = V_{il} \sin \Delta \psi \end{cases} \quad (3.43)$$

Sai lệch giữa quỹ đạo tên lửa và quỹ đạo tham chiếu:

$$\Delta \dot{h} = V_{il} \sqrt{1 + f_x^2} \sin(\Delta \psi - \psi_m) \quad (3.44)$$

Rút ra được mô hình động học:

$$\begin{cases} \Delta \dot{\bar{\psi}} = \frac{g}{\bar{V}_{il}} n_{zm} \\ \Delta \dot{h} = \bar{V}_{il} \sin(\Delta \bar{\psi}) \end{cases} \quad (3.48)$$

Điều kiện biên: $\Delta \bar{\psi}_{t_f} \rightarrow 0$; $\Delta h_{t_f} \rightarrow 0$ với $t_f < t_{td}$

3.2.2. Xây dựng luật dẫn

Hàm chỉ tiêu chất lượng có dạng:

$$J = \frac{1}{2} \rho_1 \Delta \bar{\psi}_{t_f}^2 + \frac{1}{2} \rho_2 \Delta h_{t_f}^2 + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} n_{zm}^2 dt \rightarrow \min \quad (3.49)$$

Hệ phương trình biến động trạng thái:

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_{\Delta \bar{\psi}}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \Delta \bar{\psi}} = -\lambda_{\Delta h} \bar{V}_{il} \cos \Delta \bar{\psi} \\ \frac{d\lambda_{\Delta h}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial h} = 0 \end{cases} \quad (3.52)$$

Nghiệm tối ưu:

$$n_{zm} = -\frac{g}{\bar{V}_{il}} \lambda_{\Delta \bar{\psi}} \quad (3.53)$$

Điều kiện biên chuyển đổi:

$$\begin{bmatrix} \lambda_{\Delta \bar{\psi}} \\ \lambda_{\Delta h} \end{bmatrix}_{t_f} = \begin{bmatrix} P^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{\psi} \\ \Delta h \end{bmatrix}_{t_f}; P^f = P^f = \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 \\ 0 & \rho_2 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Hệ phương trình mở rộng:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{(11)} & A^{(12)} \\ A^{(21)} & A^{(22)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

Biến trạng thái và đồng trạng thái tại thời điểm cuối:

$$\begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix}_{t_f} = \begin{bmatrix} I_{2 \times 2} \\ P^f \end{bmatrix} x_{t_f} \quad (3.59)$$

Luật dẫn tối ưu có dạng:

$$n_{zm} = -\frac{g}{V_{il}} [1 \quad 0] P^T(t) x \quad (3.59)$$

Tương tự, tìm $P(t)$ từ phương trình Riccati từ các ràng buộc bổ sung. Nhận được luật dẫn:

$$k_1 = \frac{n_{zm-CP} + \frac{1}{gT_{CP}^2} \Delta h_{\max}}{\frac{1}{\bar{V}_{il} T_{CP}} \Delta h_{\max} + \Delta \bar{\psi}_{\max}} \quad (3.61)$$

$$k_2 = \frac{n_{zm-CP} + \frac{\bar{V}_{il}}{gT_{CP}} \Delta \bar{\psi}_{\max}}{\Delta h_{\max} + \bar{V}_{il} T_{CP} \Delta \bar{\psi}_{\max}} \quad (3.62)$$

$$n_z = -\frac{k_1 \Delta \bar{\psi} + k_2 \Delta h}{\sqrt{1 + f_x^2}} + \frac{V_{il}}{g} \dot{\psi}_m \quad (3.63)$$

Trong luật dẫn (3.63) nhận thấy: thành phần thứ nhất được sử dụng để khử sai lệch quỹ đạo tên lửa so với quỹ đạo tham chiếu theo sai lệch góc và sai lệch thẳng, thành phần thứ hai là quá tải yêu cầu được xác định theo quỹ đạo tham chiếu.

3.3. Xây dựng quỹ đạo chuyển động tham chiếu của tên lửa

3.3.1. Xác định dạng và tham số quỹ đạo tham chiếu

Quỹ đạo tham chiếu của tên lửa thỏa mãn các ràng buộc: xuất phát từ điểm O (điểm phóng) đến điểm mong muốn M ; quá tải tên lửa trong quá trình bay đến M đảm bảo nhỏ hơn quá tải cho phép, quá tải tên lửa tại M nhỏ ≈ 0 ; quỹ đạo tham chiếu đa dạng.

Lựa chọn hàm tham chiếu Rayleigh có dạng:

$$z = K \frac{x - \bar{x}}{\delta^2} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\delta^2}} \quad (3.70)$$

Tính toán hệ số nhận được:

$$\delta = \frac{x_2 - x_1}{1 - \sqrt{2}x^*}, \quad K = z_2 e^{\frac{1}{2}\delta} \quad (3.74)$$

Đạo hàm bậc nhất, bậc hai:

$$f_x = \frac{K}{\delta^2} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\delta^2}} \left(1 - \left(\frac{x-\bar{x}}{\delta} \right)^2 \right) \quad (3.75)$$

$$f_{xx} = -\frac{K}{\delta^2} \frac{x-\bar{x}}{\delta^2} \left(3 - \frac{(x-\bar{x})^2}{\delta^2} \right) e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\delta^2}} \quad (3.76)$$

3.3.2. Thuật toán xác định điểm bắn đón mong muốn

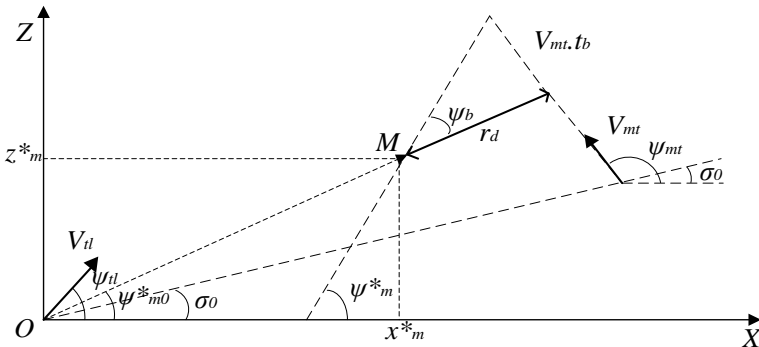
Với trường hợp tên lửa chuyển động thẳng từ O đến M , tính được:

$$\psi_m^* = \arcsin \left(\frac{t_{id} V_m}{t_{id} V_{il} + r_{id}} \sin \Delta \psi_{m0} \right) + \sigma_0 \quad (3.80)$$

$$x_m^* = t_{id} V_{il} \cos \psi_{m0}^*; \quad z_m^* = t_{id} V_{il} \sin \Delta \psi_{m0}^* \quad (3.81)$$

Khi tên lửa chuyển động với quỹ đạo cong phải tính lượng bù:

$$\psi_b = \arctan \left(\frac{V_{mt} t_b \cdot \sin(\psi_{mt} - \psi_{m0}^*)}{r_{id} + V_{mt} t_b \cdot \cos(\psi_{mt} - \psi_{m0}^*)} \right) \quad (3.83)$$



Hình 3.3. Xác định góc đón mong muốn.

Thời gian bù được xác định bằng thuật toán lặp:

- Bước 1, cho $t_b = \Delta t$ với Δt đủ nhỏ, nhận được $t_{idb} = t_{id} + t_b$;
- Bước 2, tính ψ_b theo (3.83);

- Bước 3, tính ψ_m^* theo (3.80);
- Bước 4, xác định lại hàm Rayleigh theo $(x_{mto}^*, z_{mto}^*), \psi_m^*$;
- Bước 5, tính khoảng cách tên lửa – mục tiêu $r_{TL-MT}|_{t_{db}}$ tại t_{db} ;
- Bước 6, So sánh, nếu $|r_{td} - r_{TL-MT}|_{t_{db}}| \leq \varepsilon$, kết thúc chương trình.

Nếu $|r_{td} - r_{TL-MT}|_{t_{db}}| > \varepsilon$, quay trở lại bước 1 với $t_b = (k+1)\Delta t, k=1 \div n$ (ε - sai số).

Lượng đón đề triệt tiêu độ trượt:

$$\sin \psi_{tr} = -\frac{V_{mt}}{V_{tl}} \sin(\Delta \psi - \Delta \psi_{mt}) \quad (3.84)$$

3.3.3. Một số kết quả mô phỏng

Luật dẫn (3.63) hình thành quá tải bám theo và khử sai lệch so với hàm tham chiếu Rayleigh. Giá trị sai lệch thẳng, sai lệch góc giữa quỹ đạo tên lửa và hàm tham chiếu được khử nhanh và đưa về “0”.

Xác định được góc hướng mong muốn và tọa độ mong muốn thỏa mãn yêu cầu đặt ra.

3.4. Kết luận chương 3

- Luật dẫn (3.29) với đường tham chiếu là đường thẳng nhanh chóng đưa tên lửa vào trạng thái xác lập. Tuy nhiên: quỹ đạo phân lớn là đường thẳng không đảm bảo đa dạng quỹ đạo theo yêu cầu;

- Luật dẫn (3.63) với đường tham chiếu là hàm Rayleigh đảm bảo được trạng thái xác lập cho tên lửa trước khi vào tự dẫn, quỹ đạo đa dạng. Sai lệch góc và sai lệch thẳng nhanh chóng được khử và tiến về “0”;

- Thuật toán xác định điểm đến mong muốn cho phép xác định chính xác các tham số tọa độ, góc hướng mong muốn.

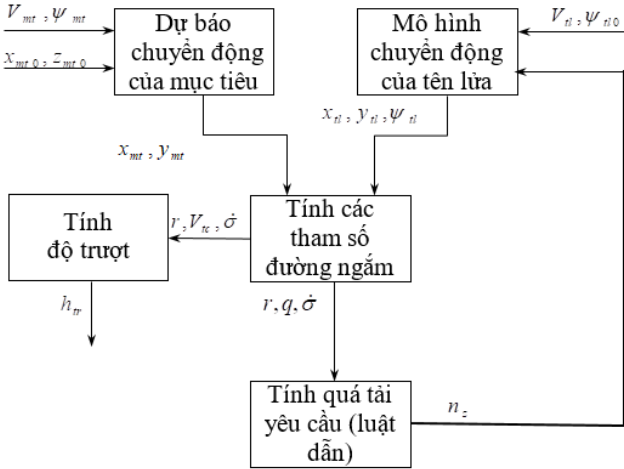
CHƯƠNG 4

MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÁC LUẬT DẪN

4.1. Mô phỏng đánh giá luật dẫn theo tốc độ góc đường ngắm

4.1.1. Sơ đồ tổ chức mô phỏng

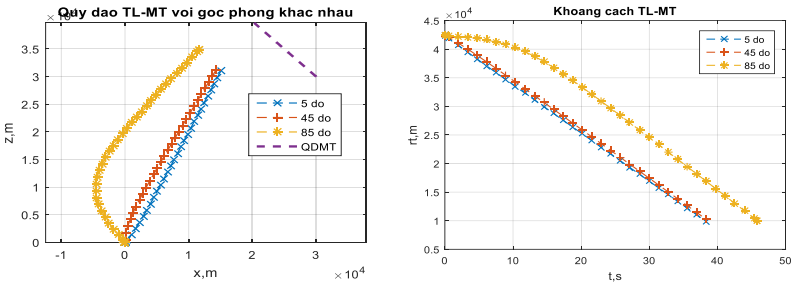
Sơ đồ tổ chức mô phỏng được chỉ ra trong hình 4.1.



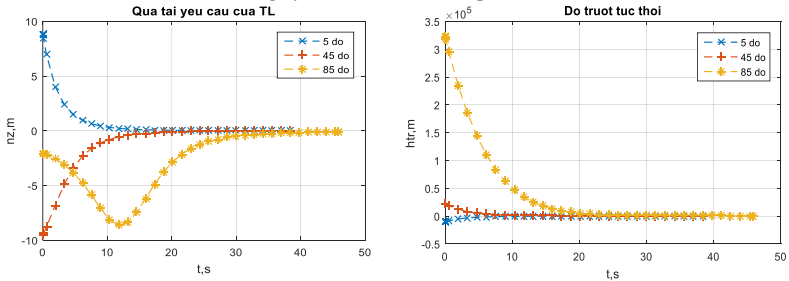
Hình 4.1. Sơ đồ tổ chức mô phỏng.

Các tham số tính toán trong sơ đồ được xác định theo các công thức từ (4.1) ÷ (4.8).

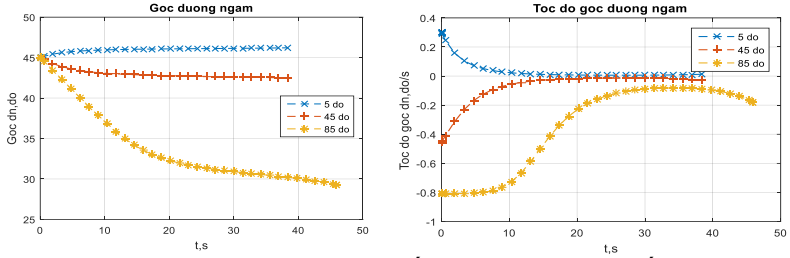
4.1.2. Mô phỏng đánh giá hiệu quả luật dẫn



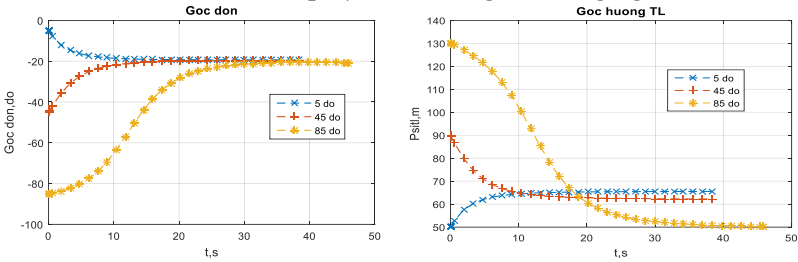
Hình 4.2. Quỹ đạo và khoảng cách TL-MT.



Hình 4.3. Quá tải yêu cầu và độ trượt tức thời.



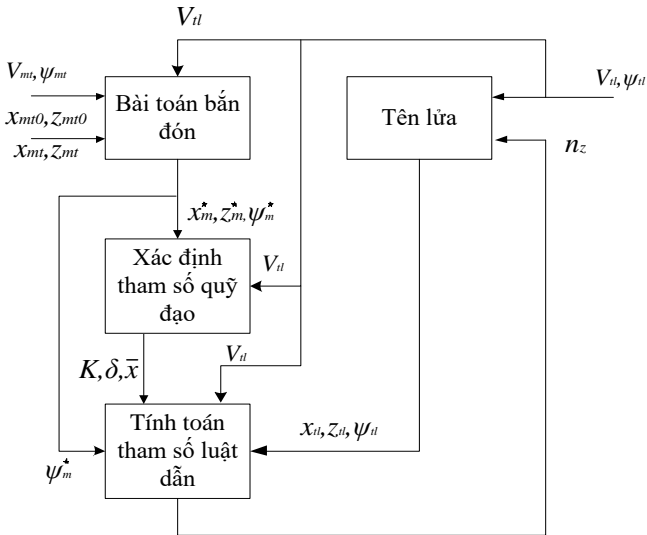
. Hình 4.4. Góc quay và tốc độ góc đường ngắm.



. Hình 4.5. Góc đôn và góc hướng tên lửa.

4.2. Mô phỏng đánh giá luật dẫn theo quỹ đạo tham chiếu là hàm Rayleigh

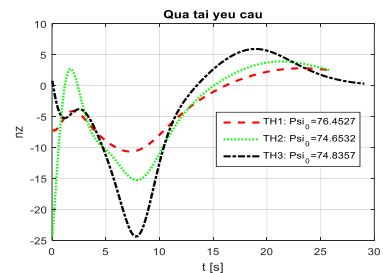
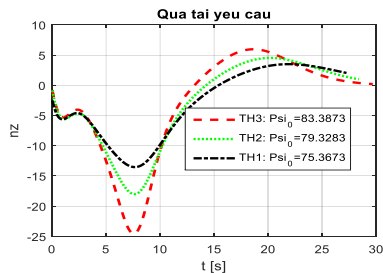
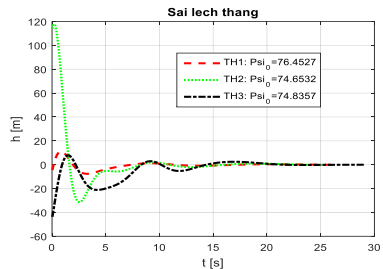
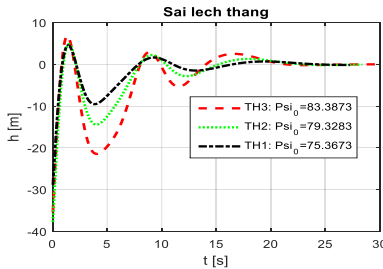
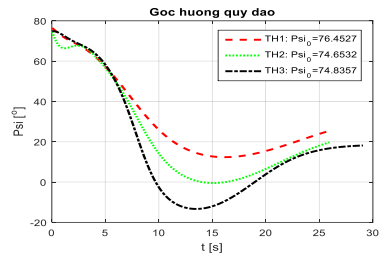
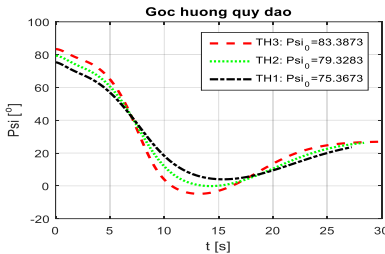
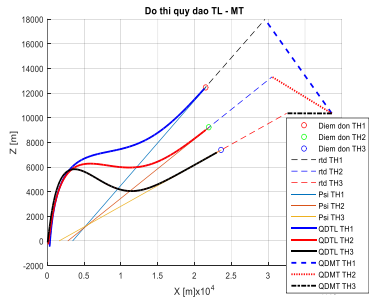
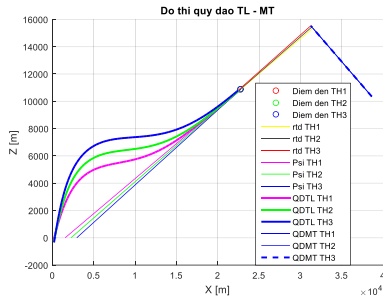
4.2.1. Sơ đồ tổ chức mô phỏng



Hình 4.14. Sơ đồ tổ chức mô phỏng.

4.2.2. Mô phỏng đánh giá hiệu quả của luật dẫn

Kết quả mô phỏng trong hai trường hợp được chỉ ra dưới các hình vẽ sau:



4.3. Kết luận chương 4

Cả hai luật dẫn (2.55) và (3.63) đều đảm bảo yêu cầu dẫn tên lửa không đối không trong giai đoạn bay ô-tô-nôm với góc đón đa dạng kể cả góc đón lớn;

Luật dẫn theo tốc độ góc (2.55) trong giai đoạn bay ô-tô-nôm phù hợp với phương pháp dẫn kết hợp trong đó giai đoạn tự dẫn sử dụng luật dẫn tiếp cận tỉ lệ; Còn luật dẫn (3.63) có thể kết hợp với nhiều luật dẫn khác nhau trong giai đoạn tự dẫn;

Luật dẫn (3.63) với quỹ đạo tham chiếu có dạng hàm Rayleigh đảm bảo hình thành một lớp quỹ đạo đa dạng. Quỹ đạo luật dẫn (2.55) phụ thuộc tham số chuyển động của mục tiêu;

Thuật toán giải bài toán bản đón đưa ra điểm đón mong muốn phù hợp với tham số chuyển động mục tiêu và tham số của quỹ đạo mẫu;

Luật dẫn (3.63) duy trì trọng tâm tên lửa theo quỹ đạo mong muốn, loại trừ được ảnh hưởng của các nhiễu động bên ngoài.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận chung

1) Phân tích đặc điểm của tên lửa “không đối không” tầm trung, những yêu cầu tác chiến trong điều kiện chiến tranh phi đối xứng. Xuất phát từ các nghiên cứu trong và ngoài nước về phương pháp dẫn kết hợp, trên cơ sở thuyết minh kỹ thuật và yêu cầu chiến thuật đặt ra yêu cầu tổng hợp luật dẫn mới trong giai đoạn bay ô-tô-nôm;

2) Trình bày cơ sở lý thuyết điều khiển tối ưu, phương pháp và các bước giải bài toán biên với thời gian không cố định;

3) Tổng hợp được luật dẫn theo sai lệch góc, theo tốc độ góc đường ngắm với các điều kiện cho trước. Đánh giá khả năng ứng dụng của hai luật dẫn vừa tổng hợp;

4) Tổng hợp được luật dẫn theo sai lệch góc và sai lệch thẳng với quỹ đạo tham chiếu là đường thẳng và đường cong bất kỳ với điều kiện đảm bảo thuận lợi cho tự dẫn;

5) Xác định hàm quỹ đạo tham chiếu mong muốn với yêu cầu đảm bảo hướng tấn công mong muốn khác nhau, xây dựng được họ quỹ đạo mong muốn phụ thuộc vào tham số mục tiêu;

6) Giải bài toán bản đón với với các tham số TL-MT, xác định các tham số mong muốn có tính đền bù sai lệch do độ cong quỹ đạo và khur độ trượt tức thời;

7) Thực hiện mô phỏng, đánh giá hiệu quả, khả năng ứng dụng của hai luật dẫn đã tổng hợp (2.55) và (3.63).

2. Những đóng góp mới về khoa học

1) Đã tổng hợp luật dẫn tên lửa “không đối không” giai đoạn bay ô-tô-nôm theo quỹ đạo tham chiếu;

2) Đã đề xuất một lớp quỹ đạo tham chiếu có dạng hàm Rayleigh và xây dựng thuật toán giải bài toán bắn đón phù hợp với quỹ đạo tên lửa đã chọn.

3. Kiến nghị và hướng phát triển của luận án

1) Để hiện thực hóa các luật dẫn đã tổng hợp trong giai đoạn bay ô-tô-nôm cần bố trí các thiết bị xác định các tham số luật dẫn như máy tính trên khoang, hệ thống dẫn đường quán tính,...;

2) Có thể phát triển các dạng quỹ đạo tham chiếu khác nhau phù hợp với các mục đích cụ thể cho các lớp tên lửa khác nhau;

3) Cần tổng hợp các thuật toán ổn định vòng điều khiển để sử dụng các luật dẫn đã đề xuất từ đó có thể ứng dụng vào thực tế.

Các vấn đề và kết quả nghiên cứu trong luận án đã được tìm hiểu nghiêm túc và cố gắng trình bày một cách khoa học. Tuy nhiên do điều kiện thời gian và năng lực có hạn, có thể còn thiếu sót. Rất mong nhận được các đóng góp để tác giả tiếp tục hoàn thiện và phát triển hướng nghiên cứu.

Tác giả xin chân thành cảm ơn!